Analizzare le rotte antiche: la Least Cost Path Analysis e lo studio del paesaggio antico

Nicola Lanzaro- 24 Gen 2024

Analizzare le rotte antiche: la *Least Cost Path Analysis* e lo studio del paesaggio antico

Nicola Lanzaro

Abstract

L'analisi dei percorsi antichi tra punti di una rete interconnessa, come una serie di siti o il caso di area di approvvigionamento-area di diffusione di una data risorsa, sta assistendo ad una sostanziale trasformazione metodologica negli ultimi trenta anni a causa della diffusione dei sistemi informativi geografici (GIS). Una tecnica estremamente versatile, in grado di combinare i meccanismi di analisi di rete e analisi del paesaggio, è la *least cost path analysis* (o LCP *analysis*). Quest'analisi computazionale il percorso ottimale tra due punti in uno spazio geografico, considerando i costi associati agli spostamenti attraverso diverse tipologie di terreno. Partendo da un modello (*raster* dei costi), basato sui dati relativi alla geomorfologia e uso del territorio, e applicando l'algoritmo di Dijkstra si ottiene quello che dovrebbe essere il percorso migliore in termini di costo (fatica impiegata) per eseguire tutto lo spostamento. In questa sede si analizzerà questo tipo di analisi sul piano prettamente metodologico, analizzando processi, pregi e difetti.

Introduzione

La *least cost path analysis* è una tecnica di analisi di rete utilizzata per identificare il percorso ottimale tra due punti in uno spazio geografico, tenendo conto dei costi associati a spostamenti attraverso diverse tipologie di terreno. Quando si parla di costi in questo ambito, non si parla propriamente di costi economici di uno spostamento, quanto piuttosto di un concetto astratto e variabile legato al concetto geografico di *friction of distance*, che potremmo tradurre come "attrito/costo di spostamento". Secondo questo principio ogni movimento comporta una forma di costo (attrito), sotto forma di sforzo fisico/energia/tempo e/o l'impiego di altre risorse, e questi costi sono proporzionali alla distanza percorsa. In sostanza, il costo del movimento è "elevato" quando il viaggiatore sta attraversando una zona in cui camminare è difficile (zona ripida, palude, vegetazione alta) ed è "basso" in una zona pianeggiante e lastricata. L'algoritmo della *least cost path* analizza un modello che rappresenti la realtà esaminata (*raster*) e trova il percorso migliore evitando terreni difficili come pendenze, ma non necessariamente il percorso scelto è quello più breve in quanto un percorso più lungo potrebbe essere meno faticoso. È importante dire che non esiste un modello o una metodologia unica da applicare. Il contesto geografico e cronologico che è preso in esame e la quantità di dati disponibili influenzano molto il modello finale e la precisione dei risultati.

Metodologia e modello d'esempio

I parametri per la costruzione del "*raster* dei costi", sulla base del quale viene estrapolato il percorso più "economico", non sono sempre di facile decodificazione e devono tener conto sia di variabili fisiche che ambientali. Come detto nel paragrafo precedente, il *raster* delle pendenze è la base per la costruzione del modello in quanto è quello che dà la forma al territorio preso in analisi. Essendo il concetto di "costo" un valore astratto e arbitrariamente scelto da chi crea il modello, si può scegliere di equiparare il valore di pendenza al valore di costo. Ad esempio, un'area con pendenza di 90° equivale al valore di "costo" 90, se la pendenza è di 1° allora il valore di costo o

fatica per attraversarlo sarà 1. Il risultato si potrebbe riclassificare con valori numerici differenti, ma essendo il "costo" quantificabile con scale arbitrarie, il risultato non cambierebbe: se la cella con pendenza 90 è la più faticosa da attraversare, questa resta la più difficoltosa anche se si ricalibrassero i valori utilizzando una scala da 1 a 10.

Poiché il modello si crea in modo arbitrario ci saranno casi in cui il modello è adatto e casi in cui non può essere utilizzato. Questo modello non considera la direzione di movimento, cioè se si attraversa la cella in salita o in discesa il costo dell'attraversamento di entrambe le celle non cambia. Realisticamente, per un essere umano, il costo per percorrere in discesa un tragitto è leggermente inferiore rispetto ad uno in salita avente la stessa inclinazione; nel nostro caso tale variazione non è così rilevante. Le rotte tracciate tenderanno quindi ad evitare le aree di pendenza o a passare per le aree di ripidità lieve.. Lo scopo di quest'analisi non è certamente rintracciare con una precisione metrica l'area di passaggio della viabilità - poiché sarebbe impossibile - quanto più rintracciare proprio quei "punti di passaggio obbligati"[1] che dovevano esistere ed essere sfruttati dai viaggiatori delle epoche storiche pre-moderne. Si ricorda che in questa sede ci interessa tracciare la viabilità commerciale che poteva essere percorsa da carovane con animali da soma caricati di merci, i quali dovevano avere difficoltà a trasportare il carico tanto in salita quanto in discesa. Per le carovane doveva essere necessario l'attraversamento di zone il più pianeggianti possibili e vitali in punti di passaggio come valichi tra vallate e guadi. Come anticipato, ci sono modelli e modelli, alcuni hanno bisogno di avere determinate informazioni per poter funzionare al meglio e, nel nostro caso, tener conto esclusivamente della topografia non basta. Si è accennato al fatto che la pendenza non è l'unico fattore che può decretare la difficoltà di attraversamento di una determinata area: l'uso del suolo e l'idrografia sono altri parametri da tenere in considerazione e da inserire nel nostro modello di riferimento. Le vaste distese d'acqua, dighe e bacini artificiali sono problema per la *least cost path analysis* basata sulla ripidità del suolo poiché questi elementi sono considerati a tutti gli effetti come delle aree con valore 0, quindi di facile attraversamento. Questo succede perché il DEM rileva la superficie dell'acqua come un'area totalmente piatta e quando si attua la conversione in *raster* di pendenza questo continua a identificare questo tipo di idrografia come una pianura. La funzione che traccia il percorso migliore tende a far passare forzatamente il tragitto su queste aree andando a creare un percorso impossibile.

Il metodo utilizzabile per ovviare questo problema è il seguente:

1. tramite l'analisi delle fotografie aeree e del *raster* delle pendenze sono state individuati e classificati specchi d'acqua abbastanza estesi da risultare problematici;

2. è stato creato un *layer* vettoriale (poligoni) in cui tutti i punti problematici sono stati mappati;

3. il layer vettore è stato convertito in un file *raster* con risoluzione identica a quella del *raster* delle pendenze. All'acqua è stato dato il valore di 95 in modo che il sistema considerasse queste zone come estremamente difficili da attraversare, mentre alle aree vuote è stato dato il valore di 0;

4. Utilizzando l'operatore di somma tra *raster* i dati della pendenza e quelli relativi all'idrologia sono stati uniti in un unico output[2].

---

[1] GIETL - DONEUS - FERA 2007.

[2] Per maggiori informazioni sugli operatori e le operazioni tra raster si veda il concetto di Map Algebra espresso da Tomlin in: TOMLIN *et al.* 1979; TOMLIN 1983.

Un secondo fattore che è stato tenuto in considerazione per il modello dei costi è stato l'uso del suolo. Questo dato influisce più che altro nelle aree pianeggianti in quanto per le aree piatte esistono più variabilità che possono impattare sul modello: aree paludose, foreste fitte o campi coltivati possono essere considerati un terreno difficile. Questo tipo di dato è molto limitato poiché il territorio subisce molte trasformazioni attraverso i secoli.

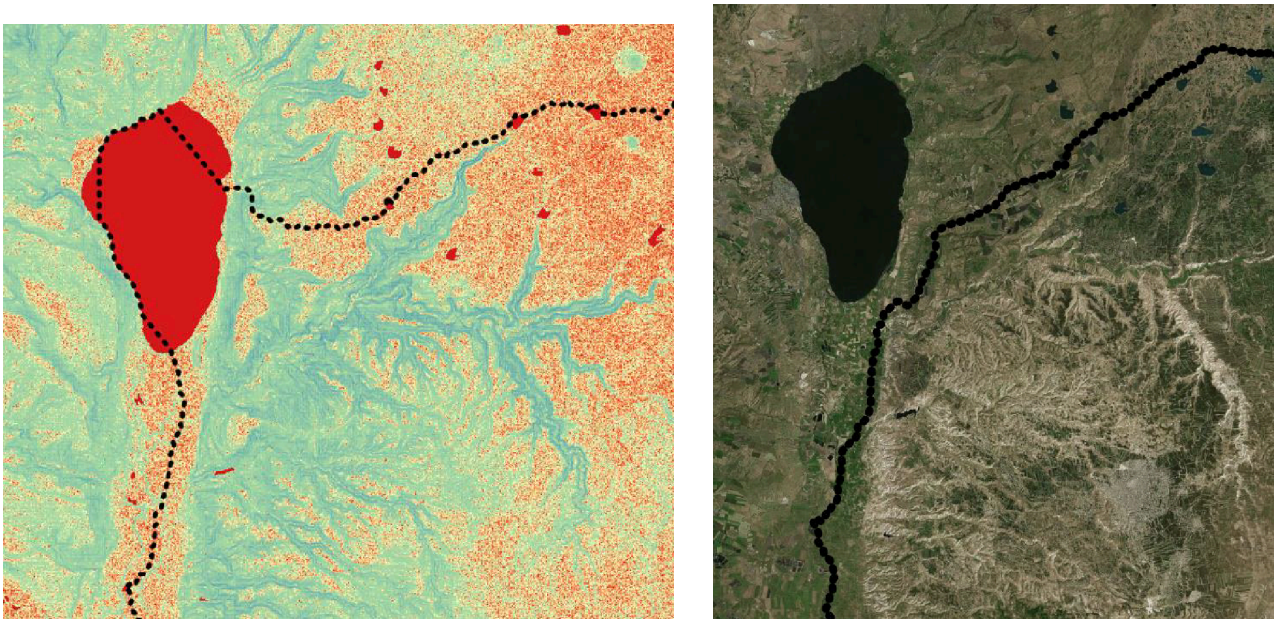

Figura 1 Differenza tra least cost path analysis eseguita avendo come raster di costo basato esclusivamente su lla pendenza (a sinistra) e una corretta eseguita tenendo conto anche dei dati relativi all'idrografia (a destra). Si noti come nel primo caso il rosso indichi le aree totalmente pianeggianti (valore 0) mentre le pendenze più accentuate sono indicate con scale di verde. Il percorso tracciato nel primo caso tende a passare per il Lago di Tiberiade e per una serie di vasti bacini posti sugli altopiani transgiordani, creando un dato falso. (N. Lanzaro, mappa di base: Earthstar geographics SIO, © 2019 HERE © 2019 Microsoft).

Prendendo in riferimento i casi della Valle di Esdraelon (Israele-Palestina) e Val di Chiana (Italia) - osservandoli tramite immagini aeree o satellitare - si può notare come le due aree sembrino un corridoio di passaggio perfetto con asse est-ovest, per la valle di Esdraelon, e nord-sud, nel caso della Val di Chiana. In effetti questa affermazione è parzialmente esatta in quanto queste aree sono quasi dei punti di passaggio obbligato. La valle di Hula, ad esempio, è schiacciata tra le alture del Golan ad est, le montagne dell'Alta Galilea ad est e il monte di Hermon nel nord-est. A sud la valle si connette con il lago di Tiberiade e quindi con la parte settentrionale della valle del Giordano, a nord invece una serie di vallate strette tra la catena montuoso di Libano e Anti-Libano la connette alla valle della Biqaa e, dunque, al levante settentrionale. Non tutta l'area delle due piane era costituita dalla distesa piatta di campi e stradine di campagna che oggi si può osservare in quanto l'attuale panorama è frutta di una serie di bonifiche e trasformazioni antropiche avvenute nella prima metà del secolo scorso[3].

Prima delle bonifiche l'area della valle di Hula era un'area lacustre in cui al centro vi era il lago di Hula, ora ridimensionato, circondato da più bassi acquitrini. Il bioma paludoso è stato trasformato per aumentare l'area di terra arabile e per motivi igienico-sanitari, in quanto l'area era flagellata da casi di malaria . La presenza di un bioma diverso e certamente inospitale si può intuire dalla

[3] Greenberg 2002, 15-16.

disposizione dei siti nella valle stessa: questi infatti sono disposti nelle aree periferiche della valle, in modo da evitare attentamente l'area acquitrinosa centrale. Lo Si può intuire anche osservando la viabilità romana, che evita l'area centrale e più pianeggiante della vallata ed è costruita lungo la fascia collinare leggermente sopraelevata che passa nell'area pedemontana tra le alture del Golan e il limite orientale della valle. Questo è un pattern tipico della pianificazione viaria romana nelle vallate alluvionali come questa presa in esame, una scelta simile ha confronti anche con casi occidentali come il caso del tratto della Via Cassia che attraversa la Val di Chiana, anche questa zona paludosa con alta frequenza di malaria fino a tempi recenti.

Anche la Val di Chiana, in particolare nell'area ad est della città di Cortona e del lago Trasimeno, presenta le stesse problematiche evidenziate per la valle di Hula. Testimonianze iconografiche e letterarie descrivono la vallata come un'area paludosa invivibile e tormentata dalla malaria[4],

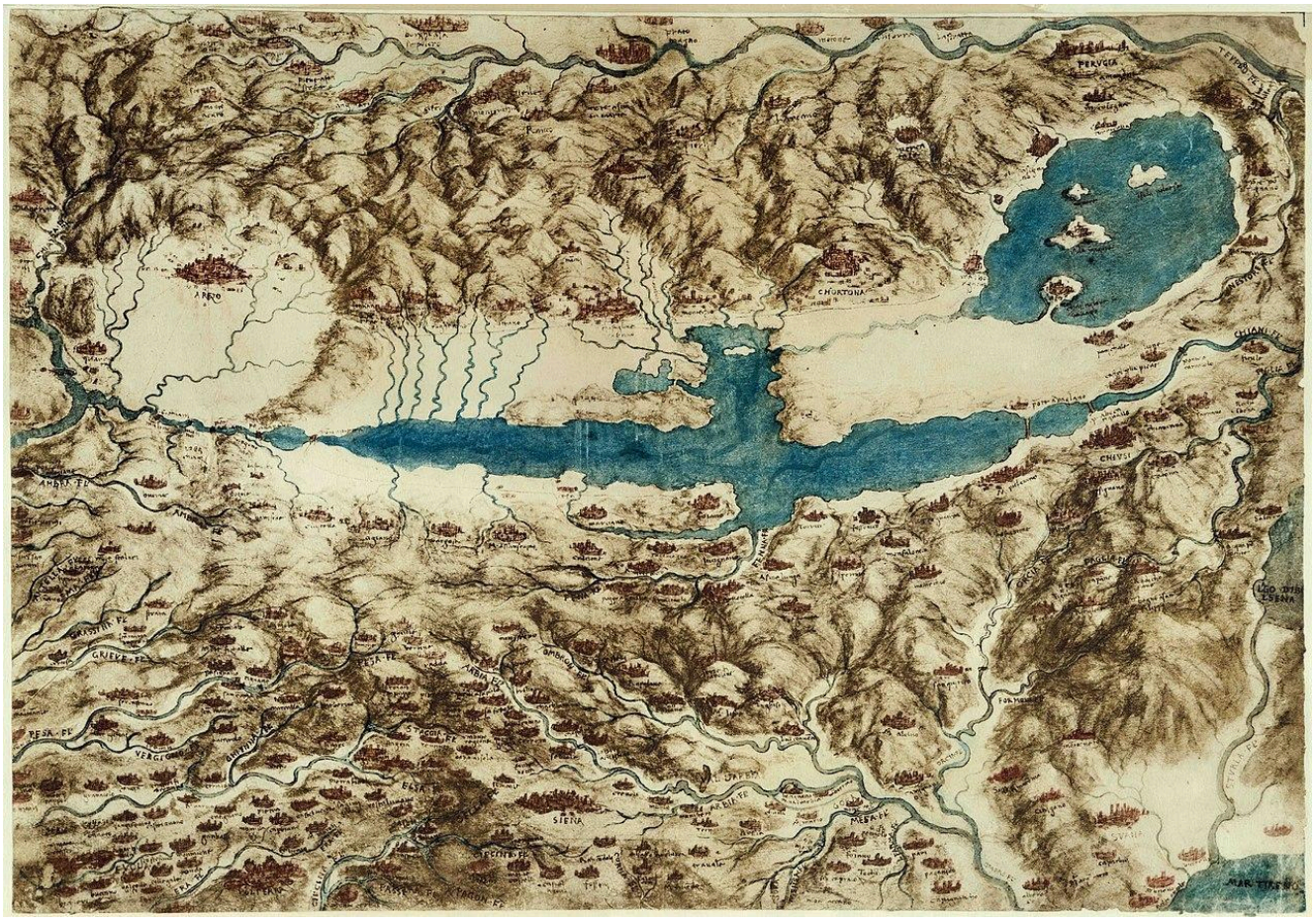

Figura 2 Mappa della Val di Chiana, Leonardo da Vinci, 1502-03, Windsor, Royal Library (da https://it.wikipedia.org/wiki/Val_di_Chiana#/media/File:Val_di_Chiana.jpg).

mentre la Val di Chiana attuale sembra essere un corridoio pianeggiante e fertile. Anche in questo caso il paesaggio attuale è frutto di un'intensa attività di bonifica iniziata già nel XVI secolo con Cosimo I de Medici.

[4] «Quivi son volti pallidi e confusi perché l'aire e le Chiane li nemica sì che li fa idropichi e rinfusi» da Fazio degli Uberti, Dittamondo - libro III, capitolo X, vv. 22-24.

Figura 3 Veduta della Valle di Hula, si notino i campi coltivati che attualmente caratterizzano l'area (da https://artusobirds.blogspot.com/2013/02/hula-valley-israel.html - Cristian Arturo: Birds, Wildlife).

Figura 4 Veduta della Val di Chiana moderna (da https://toscanachiantishire.com/bonifiche-e-canali/).

Una volta individuate le aree paludose, gli è stato dato il valore di costo di 95. Si è scelto di trattare queste aree come veri e propri specchi d'acqua tenendo conto della difficoltà, se non impossibilità,

dell'attraversamento di un pantano per una carovana carica di merci; il rischio alto di perdere animali da soma e carico era certamente un grave danno che doveva essere limitato con la scelta dei percorsi migliori e certamente più sicuri.

Una volta ultimato il modello e inseriti tutti costi (pendenza, idrografia e uso del suolo) in un unico *raster* dei costi tramite l'operatore di somma si può procedere con l'analisi del percorso migliore. Per questa tipologia di analisi è possibile utilizzare il plug-in *Least Cost Path* disponibile per QGis. Questo così come molti degli strumenti utilizzati per la *least cost path analysis* si basano sull'Algoritmo di Dijkstra, elaborato dall'informatico olandese Edsger Dijkstra e pubblicato nel 1959[5]. L'algoritmo è stato costruito per rintracciare la strada più breve tra una serie di nodi che contengono una rete, nel nostro caso si consideri ogni pixel del nostro *raster* di costo come un nodo e il costo di movimento come valore da considerare. L'algoritmo porterà a tracciare una strada da un punto di partenza *start* ad uno o più punti di arrivo *end* passando per le celle la cui somma produce il minore costo.

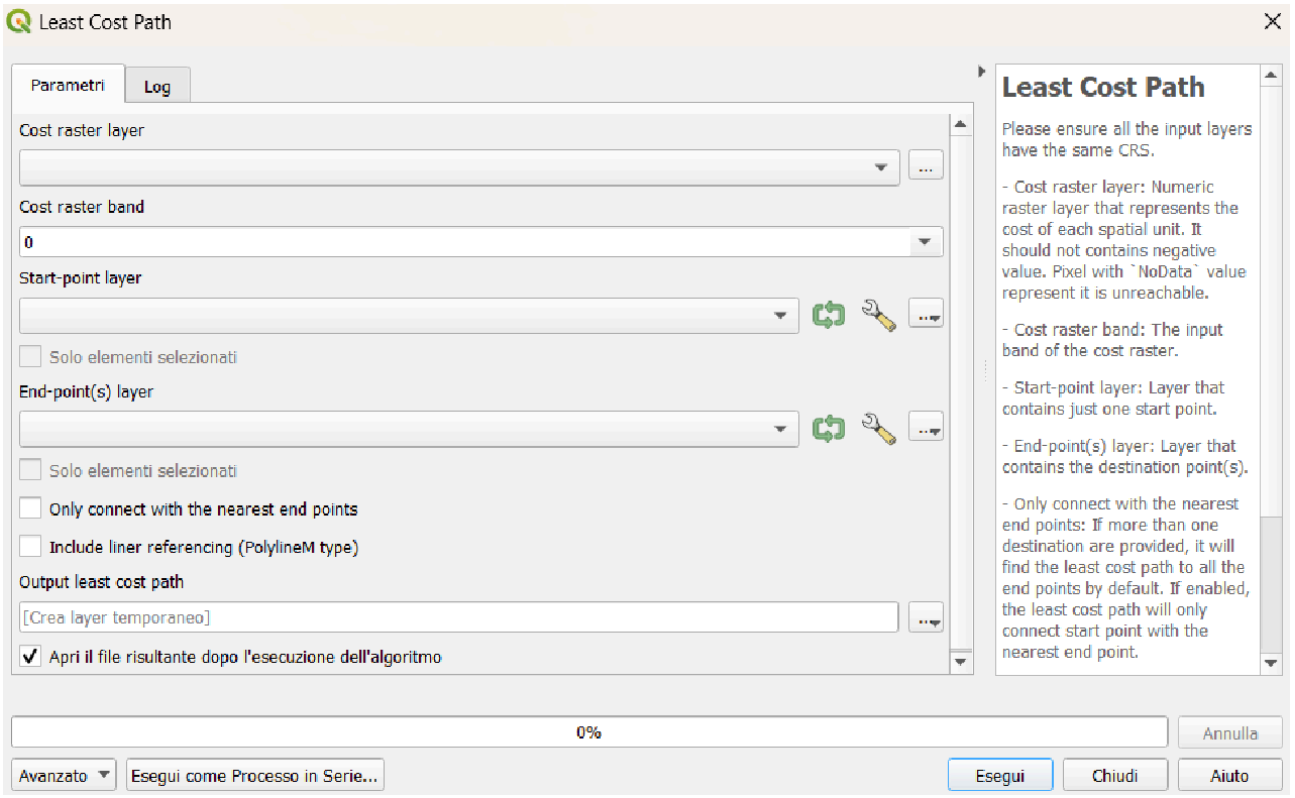

Figura 5 Interfaccia utente per la least cost path analysis. Nella prima riga bisogna indicare il nome del file raster che contiene i costi di spostamento, nella seconda si indica quale dei valori associati al raster ne determina il costo. La terza e quarta riga indicano il punto di partenza e quelli di arrivo del tragitto da calcolare, bisogna scegliere dei layer di tipo vettoriale (punti) (di N. Lanzaro).

Conclusioni

In questo breve articolo è stato fatto il tentativo di trattare in modo sintetico e esemplificativo un possibile metodo di indagine delle rotte terrestri nel mondo antico utilizzando datasets e tecniche di analisi facilmente accessibili e replicabili a basso costo con i moderni software GIS e dati open source. La *least cost path analysis* appena descritta non deve essere considerata come una panacea

[5] Dijkstra 1959.

in grado di fornire una risposta assoluta alla domanda “quale era la rotta migliore tra due siti o aree in contatto?”. Questo è da considerarsi più un valido suggerimento per escludere quei percorsi che sono geograficamente inaccessibili senza le moderne tecnologie di trasformazione del paesaggio (bonifiche su ampia scala, tunnel scavati nella roccia vergine, ponti sospesi) oppure per rintracciare, in determinati contesti geografici, quelli che dovevano essere dei punti di passaggio obbligato come valichi montani, guadi, altipiani tra forre; la viabilità di epoca romana se presa in considerazione e confrontata con i dati della LCP può aiutare ad individuare questi punti di passaggio strategico con più facilmente. I dati così come sono prodotti dall’algoritmo non hanno valore sotto l’aspetto della ricostruzione storica se non vengono prima confrontati con un dataset prettamente storico-archeologico (fonti letterarie-epigrafiche, dati archeologici) che permettono di storicizzare e confermare la rotta individuata dal computer. Allo stesso modo è da considerare che questo sistema non risulta ottimale in tutti i tipi di contesto geografico-ambientale. Il sistema è ottimale in caso di aree montuose o collinari o con profondi fiumi, dove effettivamente è possibile individuare una rotta tra una serie di punti di passaggio obbligato mentre è poco utile in vaste aree pianeggianti, soprattutto se non si hanno dati relativi a vegetazione o uso del suolo. In quel caso bisogna stare attenti a non creare delle false rotte così come può avvenire se si analizzano i casi sopradescritti (Valle di hula e Val di Chiana) senza tener conto dei dati paleo-ambientali e paleo-idrologici.

Bibliografia

Dijkstra, E. W. 1959. "A note on two problems in connexion with graphs". *Numerische Mathematik*. 1: 269–271.

Gietl, R. - M. Doneus - M. Fera 2008. Cost Distance Analysis in an Alpine Environment: Comparison of Different Cost Surface Modules, in: Posluschny, A., K. Lambers and I. Herzog (edd.), *Layers of Perception.* Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Berlin, Germany, April 2–6, 2007 (Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte, Vol. 10). Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn, pp. 336-341.

Greenberg, R. 2002. *Early Urbanizations in the Levant: A Regional Narrative*. Bloomsbury Publishing, London.

Tomlin, C. Dana - Berry, Joseph K. 1979. "*A mathematical structure for cartographic modelling in environmental analysis*". Proceedings of the 39th Symposium. American Congress on Surveying and Mapping. pp. 269-283.

Tomlin, C. Dana 1983. "*A map algebra*". Harvard Computer Graphics Conference. Cambridge, MA.